

(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ С  
ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)(19) ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
Международное бюро

ВНИМАНИЕ! Для получения информации о состоянии дел по заявке необходимо обратиться к патентному ведомству страны, в которой заявка была подана.

(43) Дата международной публикации:  
4 Марта 2004 (04.03.2004)

РСТ

(10) Номер международной публикации:  
WO 2004/018929 A1(51) Международная патентная классификация<sup>7</sup>:  
F17D 5/00, F16L 55/18

(21) Номер международной заявки: PCT/RU2003/000375

(22) Дата международной подачи:  
21 августа 2003 (21.08.2003)

(25) Язык подачи: русский

(26) Язык публикации: русский

(30) Данные о приоритете:  
2002122419 21 августа 2002 (21.08.2002) RU

(71) Заявитель и

(72) Изобретатель: ГУРОВ Александр Ефимович  
[RU/RU]; 127562 Москва, Алтуфьевское шоссе, д.  
30, кв. 93 (RU) [GUROV, Alexandr Efimovich,  
Moscow (RU)].(74) Агент: СОКОЛОВ Андрей Борисович; 115612 Мос-  
ква, в/я 23 (RU) [SOKOLOV, Andrey Borisovich,  
Moscow (RU)].

(81) Указанные государства (национально): AE, AG, AL,

AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA,  
CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE,  
ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN,  
IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT,  
LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ,  
NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SK, SL, TJ,  
TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA,  
ZW.

(84) Указанные государства (регионально): ARIPO па-  
тент (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ,  
UG, ZM, ZW), евразийский патент (AM, AZ, BY,  
KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), европейский патент  
(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,  
GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI,  
SK, TR), патент OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,  
GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Опубликована

С отчётом о международном поиске.

В отношении двухбуквенных кодов, кодов языков и дру-  
гих сокращений см. «Пояснения к кодам и сокращениям»,  
публикуемые в начале каждого очередного выпуска Бюл-  
летеня РСТ.

(54) Title: PIPE, METHOD AND DEVICE FOR IMPROVED PIPELINES AND SIMILAR OBJECTS

(54) Название изобретения: ТРУБА, СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЙ ТРУБО-  
ПРОВОДОВ И ТОМУ ПОДОБНЫХ ОБЪЕКТОВ

(57) Abstract: The invention relates to pipes, pipelines and similar objects and can be used for aviation, metallurgy, shipbuilding etc. The aim of said invention is to increase the fault tolerance of a construction. Said invention is characterised in that a pipe is provided with at least one conductive spiral layer for inspecting and repairing the wall thereof by laser. Said layer is formed in the wall by rolling and the filling thereof with glass. Afterwards, said layer is inspected with the aid of optical oscillation, thereby making it possible to detect the wall defect. The distance to said defect is determined by the length of a pipeline and a travel time of pulses. The space of the layer is limited. A crack is repaired by oscillation heat applied towards the opening thereof. Other characteristics including the inventive device characteristics are also disclosed.

[Продолжение на след. странице]



WO 2004/018929 A1

---

(57) Реферат: Изобретение относится к трубам, трубопроводам и тому подобным объектам и может использоваться в авиации, металлургии, судостроении и так далее. Его задача - повышение отказоустойчивости конструкции. Решается тем, что труба имеет, по меньшей мере, один проводящий спиральный слой для контроля и ремонта стенки лазером. Формируют слой в стенке накаткой и заполнением накатки стеклом, обследуют его оптическими колебаниями и определяют дефект стенки. Шаг слоя - ограничен. Расстояние дефекта находят по длине трубопровода и временам пробега оптических импульсов. Залечивают трещину теплом колебаний в её раскрытие. Есть другие отличия, в том числе в устройстве.

Труба, способ и устройство для усовершенствований  
трубопроводов и тому подобных объектов

Изобретение относится к трубам, трубопроводам и тому подобным  
5 объектам и может использоваться в авиации, металлургии, судостроении,  
нефтегазовой, ракетно-космической, химической и других отраслях промыш-  
ленности.

Известны трубы, собираемые в трубопроводы сваркой, механическим  
натягом или резьбой [1]. Причём, трубы с резьбовым соединением содержат  
10 цилиндрическую оболочку и концевые резьбы. Недостаток всех этих изделий -  
низкая контролепригодность и высокая трудоёмкость ремонта, что ведет к  
громадным потерям в промышленности, в том числе из-за остановок эксплуата-  
ции трубопроводов, так как конструкция цилиндрической оболочки не предусма-  
тривает надлежащие функции.

15 Известен способ контроля нефтепроводов, заключающийся в том, что  
вблизи нефтепровода (нефтехранилища, ёмкости для хранения нефтепродуктов)  
монтируют кабель-датчик, подключают кабель-датчик к монитору и по показа-  
ниям монитора определяют течь на участке нефтепровода [2]. Способ определяет  
сквозные дефекты без остановки нефтепровода и доступа к конструкции. Основы-  
20 вается на разделении жил кабель-датчика синтетическим диэлектриком, растворя-  
ющимся нефтью. Она изменяет электропроводящие свойства данного датчика,  
циклически тестируемого компьютером, что фиксируется, обрабатывается и  
представляется на экране дисплея аппаратно-программными средствами  
монитора. Определение течи (отказа нефтепровода) может сильно задерживаться.  
25 Например, в холодное время года при возникновении малой утечки, когда грунт

за подушкой вокруг трубы замерзает, выходящая из трубопровода нефть сгущается и её подвижность ухудшается, что актуально для нефтяных месторождений Севера России. Зависит это в основном от температуры, вытекающего в единицу  
5 времени объёма, скорости распространения продукта, расстояния от утечки до датчика и темпа растворения такого диэлектрика. Хотя несквозные повреждения труб встречаются чаще, способ «видит» только нарушение разделительной функции оболочки в процессе эксплуатации. Место течи выявляется им не точно, что затрудняет и удорожает ремонт участка. Наконец, решение не работает на  
10 водо-, паропроводах и других объектах.

Устройство для осуществления способа содержит последовательно соединенные перфорированную трубку, кабель-датчик, содержащий два изолированных про-водника, и монитор [2]. Оно малоэффективно из-за влияния электромагнитных помех. Их исключают с помощью контрольного кабеля, диэлектрик которого углеводороды не растворяют, и монитора, вычитающего сигналы с кабелей.  
15 Сигнал утечки, возникающий на одном кабеле, регистрируют без проблем.

Наиболее близким по техническому существу к предлагаемому является способ контроля нефтегазопроводов большого диаметра, заключающийся в том, что обследуют трубопровод механически перемещающимся в нём поршнем,  
20 регистрируют контрольной аппаратурой поршня его местоположение по длине трубы и значения физических полей стенки, и после обследования по параметрам регистрации указывают дефекты стенки и их характеристики в трубопроводе [3, 4]. Способ выявляет развивающиеся и опасные из них (критические) дефекты стенки, так как возможно определение размеров, приращений, скорости развития  
25 и местоположения повреждений. Таким образом, предполагается исключение

отказов, но слабо учитываются затраты эксплуатации на контроль и ремонт объектов, необходимый при устранении найденного дефекта и его пропуске. Требуется внутренний доступ к трубе, оснащение её камерами приёма-запуска, компьютерная сеть и основательное программное и метрологическое обеспечение. Недостатком этого способа, как и вышеупомянутого способа, является невысокая надёжность. Причины следующие:

- 1). Коэффициенты выявляемости и прогноза дефектов не достигают здесь предельных величин. В основном, из-за отношения сигнал/шум электронных измерений, а также методических и инструментальных погрешностей неразрушающего контроля, в т.ч. проблем сравнения дефекта с эталоном (форма, размер, ориентация и расположение относительно сварных швов, зон термического влияния и образующих трубопровода - верхней, нижней), ошибка измерения расстояния до дефекта и прочее;
- 2). Обследование поршнем существенно дольше тестирования кабель-датчика компьютером и не выявляет переход развивающегося дефекта в разряд опасного. Переход наступает при достижении дефектом околоритического размера (условие Гриффитса), но во времени не определен. Из-за разбросов физико-механических свойств материала, толщи стенки, её коррозии, статико-динамической нагрузки, и так далее. Минимальный период способа задан суммой времён контроля участка, возвращения к исходному пункту и подготовки поршня для нового обследования без учёта времени сброса и обработки информации в сети. Реальный период обследования объектов - более 2-3 лет. А такой общепризнанный дефект как трещина, являющийся, в частности, потенциальным источником отказов и тяжелых аварий на газопроводах, подрастает случайными скачками

неизвестно когда. Причем скорость скачка, уступая скорости ультразвука в стали, превосходит скорость перемещения поршня на 2-3 порядка. Величина скачка не лимитирована: 10%, 400-500 и более % от критического размера, - вблизи точки  
5 перехода, так называемая магистральная трещина. При авариях на газопроводах она достигает километровой длины, на нефтепроводах - нескольких метров;

3). Безотказности поршня препятствует его сложность. Он содержит [3, 4]: герметичную секционную конструкцию, находящуюся под давлением среды с взрыво- , пожароопасными, токсичными и другими свойствами; привод с  
10 устройством измерения местоположения; высокоточные аналого-цифровые каналы; специальную ЭМВ с программами; источники стабильного электропитания, печатные платы, разъёмы и пайки; ультразвуковые, электромагнитные и другие типы датчиков для выявления аномалий в материале стенки; намагничивающее устройство и тому подобное. Причём, всё это должно работать  
15 в условиях годового перепада температур 70-90°C, что осложняет дело.

Известны способ и устройство для ремонта трубопроводов [5], основанные на внешнем упрочнении трубы. В этом способе место повреждения трубопровода локализуют до образования магистральной трещины, а трубопровод упрочняют перед уплотнением повреждения после понижения давления [5]. Устройство  
20 содержит не менее двух уплотнений в виде подкрепляющих спиральных элементов, наматываемых на трубу по обе стороны от трещины, имеются в нём и др. детали [5]. Недостаток такого восстановления трубопроводов - относительная трудоёмкость и продолжительность работ, так как требуется доставка транспортом оборудования и рабочих к месту повреждения, раскопка  
25 экскаватором грунта вокруг трубы, собственно ремонт и тому подобное.

Известен также метод контроля и восстановления объектов, поврежденных царапинами [6]. На пластинку с углублениями наносят покрытие, данные в спиральной дорожке при записи перемежаются, а восстанавливают их по заданным признакам при воспроизведении информации [6]. Проигрыватель компакт-дисков содержит лазер, двигатели, призму, фотодиод, кодеры, схемы памяти и другие элементы [6]. Недостаток этой комплексной технологии - вращение пластинок, что ограничивает её применение движущимися объектами.

В свете изложенного известные технические решения по функциям, конструкциям, способам и устройствам контроля и ремонта объектов потенциально не могут обеспечить безаварийной эксплуатации нефтегазопроводов, что приводит (и будет приводить) к значительным материальным, производственным, сырьевым, валютно-финансовым и другим важным потерям. Примеров тому в различных странах существует предостаточно.

Задача изобретения - повышение отказоустойчивости труб, трубопроводов и тому подобных ответственных объектов путём определения дефектов и упрочнения поврежденной стенки в реальном масштабе времени. Подзадачи:

- придание конструкции цилиндрической оболочки свойства промышленной контролепригодности, включающего своевременное и точное определение местоположения, размера и скорости развития дефектов;
- свойства восстановления и уменьшение трудоемкости ремонта поврежденной стенки.

Задача решается тем, что известная труба [1] имеет, по меньшей мере, один оптически проводящий спиральный слой для контроля и ремонта стенки. Трубопровод собран из труб, в которых указанный слой выполнен в стенке в виде

канавки, заполненной стеклом. В способе контроля трубопроводов, принятом за прототип [3], заключающемся в том, что обследуют трубопровод, регистрируют характеристики стенки и определяют её дефекты, отличающийся тем, что накат-  
5 кой стенки и заполнением накатки стеклом формируют в трубопроводе, по меньшей мере, один проводящий спиральный слой, обследуют его оптическими колебаниями, а дефекты стенки определяют по изменению параметров колебаний. К тому же, винтовой шаг слоя выбирают не больше длины критической трещины трубопровода. Расстояние до дефекта находят по произведению длины трубо-  
10 провода на отношение времён пробега оптических импульсов после и до появления дефекта. Формируют слои разной деформативности, а срок отказа трубопровода определяют расчетным путем по значениям деформативности слоев и стенки и моментам времени разрушения слоев. В способе ремонта трубопроводов [5], заключающемся в том, что понижают в полости давление и восстанавливают  
15 дефектную стенку, отличающийся тем, что аналогично предыдущему способу формируют в трубопроводе указанный слой, обследуют его, но по изменениям оптических колебаний понижают давление в полости, а восстанавливают дефектную стенку теплом колебаний, пропускаемых слоем в раскрытие трещины. Поток тепла в раскрытие трещины регулируют мощностью пропускаемых  
20 колебаний. Мощность пропускаемых колебаний увеличивают ступенями. Вместе с тем, устройство для осуществления способа [2], содержащее датчик и монитор, отличающееся тем, что снабжено последовательно соединёнными блоком бесперебойного питания, преобразователем постоянного напряжения в переменное и оптоэлектронной парой, которая соединена с датчиком - волоконно-оптической  
25 линией, образующей проводящий спиральный слой трубопровода, и первым



входом монитора, второй вход которого подключен к выходу преобразователя напряжения в переменное. Другой вариант устройства имеет в оптоэлектронной паре излучатель в виде лазера, - полупроводникового лазера.

5 Автор не знаком с аналогичными решениями изобретательской задачи в данной или близких областях техники. Поэтому изложенную совокупность отличительных признаков считает существенной.

Схема изобретения подробно представлена на фигурах 1-6.

На фигуре 1 показаны варианты трубы с проводящим спиральным слоем,  
10 где 1 - труба (трубопровод), 2 - стенка, 3 - внешняя спиральная поверхность, 4 -  
внешний указанный слой, 6 - внутренние спиральные поверхности (одна - слой);

На фиг.2, фиг.3 и фиг.4 показаны разрезы спирального слоя в увеличенном масштабе, где 5 - граница внешних спиральных поверхностей, 7 - граница  
внутренних спиральных поверхностей, 8,9 и 10 - соответственно срезы  
15 оптического волокна, эпоксидной матрицы и двойного слоя в канавке.

На фигуре 5 - аппроксимированная диаграмма растяжения стали, где  $\sigma_b$  - предел прочности,  $\delta$  - относительное удлинение при разрыве, 11 - стыковочная область для труб с проводящим спиральным слоем из стекла.

На фигуре 6 - схема и устройство контроля трубопроводов и тому  
20 подобных объектов.

Обозначения схемы соответствуют фигуре 1. Устройство содержит последовательно соединённые блок 12 бесперебойного питания, преобразователь 13  
напряжения в переменное, оптоэлектронную пару 14 и монитор 15, другим  
входом подключенный к выходу преобразователя 13. Пара 14 соединена с про-

водящим спиральным слоем 4. 16 - сварной стык труб.

Изобретение заключается в следующем. Труба (и другие изделия на базе конструкции цилиндрической оболочки) имеет, по меньшей мере, один оптически

5 проводящий спиральный слой (в дальнейшем - ПСС) для контроля и ремонта стенки (см. фигуру 1). В целях промышленного контроля и раннего восстановления трубопроводы и подобные ответственные объекты снабжены ПСС в стенке в виде канавки, заполненной прозрачным к электромагнитным колебаниям

оптического диапазона, твердым веществом, например, стеклом. Получают такие

10 объекты сборкой из вышеуказанных труб (оболочек) и иным образом. Для этого формируют в трубе (позиция 1 фигуры 1) известную спиральную поверхность (позиции 3, 4, 6 той же фигуры), например, накаткой, метчиком или испарением части стальной стенки (позиция 2 там же) сфокусированным лучом лазера. Заполнение (позиция 8 фигуры 2) полученной поверхности стеклом, осуществляют, в

15 частности, намоткой в канавку волокна оптических линий связи (в дальнейшем - ВОЛС), скрепляемого со стенкой адгезией (в том числе эпоксидным клеем - позиция 9 там же). Поршень для этого (на фигурах не показан) снабжается соответствующей технологической оснасткой. Операции более эффективны в заводских условиях, так как слои получают высокопроизводительным технологи-

20 ческим оборудованием (резьбонарезные, намоточные и другие средства). Коэффициент использования металла при формировании канавки резбой наименьший. Однако внутренний слой (позиция 6 на фигуре 1) выявляет недоступный внешнему, абразивный износ газопровода механическими включениями в потоке природного газа, так как стенка царапается твердыми

25 песчинками и постепенно утоняется.

Формирование осуществляют по винтовой линии, шаг которой (позиция h  
фигуры 1) ограничивают, в частности, половиной длины критической трещины  
цилиндрической оболочки, нагруженной внутренним давлением, что позволяет  
5 своевременно определить 100% опасных продольных трещин в трубопроводе и  
другие его эксплуатационные дефекты. Величину этого шага рассчитывают,  
например, по формуле:

$$h \leq WE/\pi\sigma^2,$$

где W— удельная работа разрушения трубопровода;  
10 E - модуль упругости Юнга материала;  
σ - среднее растягивающее напряжение.

Накатке (канавке) придают, в частности, трапециидальное сечение (пози-  
ции 5, 7 фигуры 2, 3) со средней шириной 1-10% её винтового шага. Такое  
сечение нуждается в меньшей точности механообработки при размещении в  
15 канавке готового оптического кабеля и меньше концентрирует напряжения трубы,  
то есть лучше, например, треугольной геометрической формы сечения. Шаг ПСС  
применяется, как правило, постоянный. Глубину (высоту) канавки устанавливают  
из нескольких соображений: толщину стенки при изготовлении труб выбирают по  
условиям прочности и надежности, то есть чтобы резьба и канавки не уменьшали  
20 сечения, выдерживающего расчетные давления; ВОЛС не выходила наружу за  
стенку трубы для исключения повреждений при строительстве трубопровода и  
транспортировке труб. Моноволокну нужна неглубокая канавка, например, 0,3-0,7  
мм. Трубы могут иметь заводскую (строительную) изоляцию. Растяжение сталь-  
ного трубопровода и ПСС технологически «увязывают», то есть началу и/или  
25 развитию пластических деформаций стали должно соответствовать механическое

разрушение стекла (см. фигуру 5). Такой объект надежен в широком диапазоне температур в силу примерного равенства температурных коэффициентов линейного расширения обоих конструкционных материалов. Растяжения согласовывают, например, размещением ВОЛС на предварительно нагруженной внутренним давлением трубе с канавкой. Уровень давления устанавливают, в частности, при отработке производства труб по величинам площадки текучести трубной стали (позиция 11 фигуры 5) и деформации волокна (2-5%) в момент его разрушения. Операция проводится, например, после калибровки (экспандирования) тонкостенных труб по диаметру. В процессе намотки стекловолокна в канавку применяют небольшое механическое натяжение. Слои из двух ПСС (на трубе они рядом, позиция 10 фигуры 4) с разными удлинениями при разрыве (деформативностями) дополнительно определяют скорость развития дефекта, т.к. становятся известны два отсчёта времени ( $t_1$ ,  $t_2$ ) в момент разрушения слоев. Первым рвётся слой с меньшей деформативностью ( $\delta_1$ ), второй - с большей ( $\delta_2$ ). Например, если трубопровод теплотрассы выполнен из стали с деформативностью  $\delta_3$ , соблюдают условие  $\delta_1 < \delta_2 < \delta_3$ . Полагается, что объект работает в стационарном режиме. Прогноз времени отказа трубопровода, для которого дистанции до дефекта по измерениям с использованием 2-х слоев совпали, выполняется расчётом.

Например, для модели площадки текучести (фигура 5) трубной стали,

$$(t_3 - t_2) = (t_2 - t_1) \times (\delta_3 - \delta_2) / (\delta_2 - \delta_1).$$

Если принять, что  $(t_2 - t_1) = 10$  дней,  $(\delta_2 - \delta_1) = 5\%$ ,  $(\delta_3 - \delta_2) = 10\%$ , то расчётное время  $(t_3 - t_2) = 20$  дней. До истечения этого срока с момента времени  $t_2$ , в частности, с 2-3-х дневным запасом, выполняют мероприятия по недопущению аварии. Что важно для опасных объектов в черте города, при пересечении с железной дорогой и так далее. К оболочкам с ПСС в определенной

мере подходит теория хрупких тензочувствительных покрытий. Лаковое покрытие даёт при тарировке 10-20% точность выявления напряженно-деформируемого состояния механических изделий. Для однослойной ВОЛС не требуется идентичность прочности участков (партий) оптоволокон. Важно, чтобы эта физическая величина находилась в зоне пластических деформаций стальной трубы 0,5-27% начального её диаметра с учетом сорта стали и наличия-отсутствия операции калибровки), т.к. именно «пластика» является неотъемлемым атрибутом искомых дефектов. В зависимости от метода размещения слоя нужно также, чтобы волокна с адгезионным наполнителем в канавке (позиции 8, 9 фигур 2, 3, 4) хорошо работали на сжатие, что соблюдается рядом конструкционных материалов, включая стекло и эпоксидную матрицу.

В результате вышеописанных операций получают образец-свидетель (контрольный образец) состояния поврежденности объекта. Метрология предложенного подхода базируется на метрических свойствах винтовых поверхностей, теории хрупких покрытий, закономерностях механики разрушения для нагруженной внутренним давлением длинной цилиндрической оболочки с дефектом и возможности наблюдения (обследования) состояния образца-свидетеля в пространстве и времени.

Обследуют этот образец оптическими колебаниями, в частности, пропуская через него оптические импульсы с известными параметрами. Для качественного трубопровода электромагнитная волна распространяется в ПСС с некоторым постоянным погонным затуханием, не встречая на своём пути ощутимых препятствий (например, для ВОЛС диаметром 125 мкм известен коэффициент затухания 0,2 дБ/км при длине волны около 1,6 мкм). В конце

трубопровода волна отражается на границе поверхности и бежит назад (обратно). Периодический процесс со временем ослабляется и прекращается. Регистрируют прямую или обратную волну в точках по концам объекта. Для

5 протяжённых участков обследование по прямой волне более эффективно, так как она меньше затухает по сравнению с отраженной. Прямая волна регистрируется в точке на противоположном конце трубопровода (участка) относительно точки ввода импульса. Отраженная волна непосредственно в точке ввода. Разделение волн ведётся, в частности, по временному признаку. Например,

10 для 1000 метрового участка диаметром 350 мм, шагом винтовой поверхности 20 мм и известной скорости распространения электромагнитной волны, запаздывание отраженной волны относительно прямой составит  $\sim 0,25$  мс. Возможны другие методы разделения или применение нескольких методов разделения.

Повреждённый слой, например, в случае возникновения в трубе при

15 эксплуатации дефекта, отражает часть волны в точке нарушения сплошности материала, часть пропускает дальше. Соотношение частей зависит от характера повреждения, т.е. от параметров дефекта. При контроле методом прямой волны её амплитуда в точке съёма соответственно уменьшается. Но это уменьшение может быть результатом и нескольких нарушений ПСС, например, цепочкой

20 разрозненных дефектов. Глубина дефекта не регистрируется, то есть эту величину следует считать большей диаметра используемого оптоволокна (или глубины канавки, в которую оно уложено).

Для точного наблюдения за фактическим состоянием трубопровода, наделенного свойством промышленной контролепригодности, величину

25 расчётного шага устанавливают  $\dots 0,2h, 0,3h, \dots 0,7h \dots kh$ , то есть контролируют

размер не опасного дефекта и прогнозируют остаточный ресурс объекта.

Коэффициент  $k \leq 1$  может быть увязан с отраслевым коэффициентом запаса прочности оболочковой конструкции. Безаварийность объекта обеспечивают, например, снижением в нём давления в 1,5-2 раза автоматическими действиями системы управления транспортом газа по признаку отсутствия (то есть изменения) обследующей волны (прямой, отраженной) в соответствующих точках трубопровода или по команде оператора системы (не показано).

Расстояние до дефекта находят по произведению длины оболочки на отношение времён пробега оптических импульсов в ПСС после и до появления дефекта. Например, это расстояние для трубопровода длиной  $L=10$  км и времени пробега импульсов после и до соответственно  $t=25$  мкс,  $T=1000$  мкс составит, как это следует из математической формулы  $X=Lt/T$ , от одного из концов трубопровода, 0,25 км. Расстояние при непрерывных оптических колебаниях находят (уточняют) фазовым методом.

Повторение импульса ограничивают величиной, полученной от деления двойной длины винтовой поверхности на скорость распространения электромагнитной волны в ПСС. В частности, выбирают из необходимого времени тревоги: раз в секунду, минуту и тому подобное, что позволяет определить моменты возникновения и достижения дефектом установленного размера.

После регистрации параметров колебаний в зависимости от ситуации «есть или нет изменения параметра», устанавливают наличие или отсутствие дефекта стенки. Геометрический размер выявляемого дефекта при оговоренных по тексту описания условиях  $\sim h$ . В отдельных случаях, в зависимости от формы и расположения дефекта относительно витков спирали, «хрупкости» её материала,

размер будет меньше, например, для симметричной витку поверхностной трещины.

Преимущество двухточечного ввода (точки по краям трубопровода),  
5 независимо учитывающего разделение ПСС на части — отсутствие необходимости неотложного ремонта слоя. Что важно с точки зрения удобства и эффективности эксплуатации пространственно распределенной системы трубопровода 1. Возможно равенство числа точек ввода числу крановых площадок (компрессорных или насосных станций) объекта контроля. При этом  
10 решение, вероятно, будет оптимальным. Надежность его выше за счёт дублирования (резервирования) точек ввода, но ремонт участка сразу после указания дефекта гарантирует контроль с одной точки.

ПСС не чувствует начальные малозначительные дефекты, например, коррозию, могущую занимать большую поверхность объекта. Реагирует только на  
15 дефекты, вызвавшие локальное изменение напряженно-деформируемого состояния комбинированной конструкции, равное или большее удлинения слоя при разрыве, что в данных условиях адекватный признак её недопустимого повреждения. Дефекты не опасные в момент обследования эксплуатации трубопровода не дают ложных срабатываний, умаляющих контроль как технологическую опера-  
20 цию.

Устройство контроля трубопроводов и т.п. объектов работает так (смотри фигуру 6). Блок бесперебойного питания 12 (аккумуляторы в комплексе с линией электропередачи, бензоэлектростанцией и выпрямителем) снабжает элементы устройства энергией независимо от перерывов энергоснабжения. Преобразователь  
25 13 выдает заданные колебания (импульсы) с помощью оптоэлектронной пары 14



(выполнена, например, с лазерным излучателем, фотоприемником и призмой), в ВОЛС 4 (датчик) трубопровода 1, а с линии - в монитор 15. Параметры оптических импульсов не меняются пока подрастающие за время эксплуатации объекта повреждения меньше  $h$ . Когда размер любого из них достигнет  $h$ , ПСС рвется в точке дефекта и время пробега оптических импульсов уменьшается. Пропорционально положению дефекта вдоль трубопровода. Это фиксируется и пересчитывается средствами монитора 15 (устройство выборки-хранения, аналого-цифровой преобразователь, компьютер, системное и предметное программное обеспечение, драйверы) в дистанцию до дефекта по математической формуле описания. На устройство не влияют электромагнитные помехи - сильно разнесены спектры полезных и паразитных колебаний. Лазер полупроводниковой пары 14 (излучает в диапазоне длин волн 0,3-30 мкм импульсы длительностью до  $10^{-9}$  с, мощностью до  $10^5$  Вт, кпд 40-60%) делает устройство надежней и долговечней, чего не обеспечивает при непрерывных колебаниях из-за теплового перегрева. Ошибка нахождения расстояния до дефекта (продольной координаты) задана только шагом слоя, т.к. относительная погрешность лазерных измерений (эталон секунды  $\sim 10^{-12}$ , метра  $\sim 10^{-10}$ ) весьма мала. Ошибка угловой координаты может составить менее  $1-3^\circ$ .

Из предыдущих операций и рекомендаций следует, что коэффициент выявляемости дефектов зависит от соотношения длины трубы с ПСС к полной её длине. Например, (см. схему и поз. 16 на фигуре 6) часть цилиндрической поверхности под кромки стыкового сварного шва без спирали даёт для 12 метровой секции с кромками 2 см расчётный  $K_{вд}=0,996(6)$ , с кромками 1 см -  $0,998(3)$ . В случае полной спирали  $K_{вд}=1$ . При монтаже трубопроводов известными методами ПСС

сращивают сваркой, склейкой. Так решается подзадача контроля, и отказ конструкции вследствие эксплуатационного дефекта практически исключается, ресурс объектов увеличивается.

5           Для залечивания и раннего ремонта трещиновидных аномалий материала стенки в известном способе ремонта трубопроводов [5], аналогично только что изложенному способу контроля формируют указанный слой, обследуют его оптическими колебаниями и определяют изменения их параметра. По этим изменениям понижают давление в полости (см. абзац по системе управления и  
10   оператору), например, клапаном или вентилем, а восстанавливают дефектную стенку трубопровода 1 теплом оптических колебаний, пропускаемых слоем в раскрытие трещины.

          Так как ПСС, что следует из вышеизложенных оснований, уже разрушен трещиной, а затухание оптических колебаний в слое, как отмечалось при описа-  
15   нии обследования трубопровода электромагнитными волнами, мало, - часть энергии сфокусированного лазерного излучения, распространяющаяся в таком волноводе, автоматически концентрируется им благодаря канавке точно в раскрытие трещины и там релаксирует за счет многократных отражений и сопутствующих потерь.

20           Это вызывает эффективный нагрев берегов трещины и прилегающих к ним районов стенки 2 без испарения металла. При этом трещина не развивается, т.к. прикрыта действием упругих деформаций в стенке от выполненного ранее снижения рабочего давления в объекте 1. Поток тепла в раскрытие регулируют мощностью пропускаемых слоем оптических колебаний. Например, использова-  
25   нием колебаний с двух точек ввода, что вполне допускает предложенный способ

контроля, подключением непрерывных лазеров большей энергетической мощности и так далее.

Температура, скорость или время нагрева определяются материалами  
5 стенки и подбираются экспериментально. Для уменьшения механических напряжений в районе дефекта (ранний ремонт) время нагрева (остывания) выбирают, например длительностью и числом лазерных импульсов, пропускаемых в слое в секунду. Для целостности греющегося вблизи дефекта опто-  
волока (чтобы не было его новых разрывов и соответственно дополнительных  
10 потерь энергии волн на отражение обратно в слой) мощность пропускаемых оптических колебаний увеличивают небольшими ступенями, изменяя амплитуду или время колебаний.

Берега трещины тепловым расширением металла сближаются и осуществляют контактное взаимодействие, то есть сварку. Граница трещины оплавляется  
15 и сглаживается, что после остывания уменьшает несплошность материала стенки в точке восстановления. Залечивание возможно в конструкциях из алюминия и его промышленных сплавов, меди и некоторых её сплавов типа бронз, латуни, других металлов и термопластов.

Для сталей и материалов с температурой плавления выше температуры  
20 размягчения стекла ремонт стенки выполняется заполнением канавки (накатки) стеклом, то есть имеет место одна из операций сварки - пайка. Причем, влияет запас (сечение) стекла ПСС. Роль канавки играет сама трещина. Такое восстановление стенки позволяет обойтись без аварийной остановки трубопроводов и тому  
подобных объектов, сопутствующих остановке затрат и обеспечивается представ-  
25 ленными на фигуре 3 схемой и устройством.

Для ближайших аналогов и прототипа это означает ускорение ремонта и сокращение его подготовительного и технологического времени.

Эффект предложений максимален на промышленных, транспортных и др. объектах, работающих в условиях давления опасных сред, например, на магистральных газо-, нефтепроводах. Меньше на теплотрассах и других конструкциях, где эти факторы слабее, разрушение трещиной не превалирует, и шаг ПСС можно определять, принимая во внимание средний размер (диаметр) коррозионных свищей из результатов исследований. Монтажные дефекты сварки могут учитываться уменьшением  $h$  в районе стыка 16. Затраты на экономический эффект с учетом полноты и вариантов реализации ожидаются на уровне до 10% стоимости труб аналогичного трубопровода без предложенных функций.

Примерно тоже для изделий подобного типа: баллонов давления, газгольдеров, резервуаров для нефтехимических продуктов, корпусов различного назначения, сосудов, баков и так далее.

Таким образом, изобретение существенно усовершенствует названные объекты, повышает их надежность и безопасность, эффективность производств, улучшает экологию и сохранность среды обитания человека.

Источники информации, принятые во внимание при экспертизе:

1. NATIONAL STANDART OF CANADA. CAN3-Z163-M86. OIL PIPELINE SYSTEMS. / КАНАДСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ. CAN3-Z183-M86. СИСТЕМЫ НЕФТЕПРОВОДОВ. (ПЕРЕВОД). (Перевод выполнен научно-техническим центром "Нефтепромдиагностика") г. САМАРА. Изд-во "Самарский дом" 1994, 196 с.

- 2, 3. Коллакот Р. Диагностика повреждений. Перевод с английского, М.: Мир, 1989, с. 220-222, 440-443 (прототип).
4. Технические средства диагностирования. Справочник/Под общ. ред.
- 5 В.В. Ключева.-М.: Машиностроение, 1989, с. 601-612.
5. Патент РФ № 2118738 на изобретение «Способ и устройство для ремонта трубопроводов». Опубликовано 10.09.98, Бюл. № 25.
6. Синклер Ян. Введение в цифровую звукотехнику: Перевод с английского, М., Энергоатомиздат, 1990, 80 с.

10

15

20

25

## ФОРМУЛА

1. Труба, имеющая спираль, предназначенную для контроля и/или ремонта  
стенки, отличающаяся тем, что винтовой шаг спирали выбран не больше  
5 длины критической трещины трубы.
2. Труба, по п.1, отличающаяся тем, что снабжена по крайней мере одной  
дополнительной спиралью одинакового направления с первой спиралью.
3. Труба по п.1 или п.2, отличающаяся тем, что спираль выполнена в стенке в  
виде канавки, заполненной стекловидной массой.
- 10 4. Труба по п.1 или п.2, отличающаяся тем, что упомянутая спираль выполнена  
на стенке в виде выпуклого слоя из стекловидной массы.
5. Способ контроля трубопровода, заключающийся в том, что трубопровод со  
спиралью обследуют, регистрируют характеристики стенки и определяют её  
дефекты с помощью выполненной на стенке трубопровода проводящей спирали,  
15 отличающийся тем, что винтовой шаг проводящей спирали выбирают не больше  
длины критической трещины.
6. Способ по п.5, отличающийся тем, что на стенке трубопровода выполняют по  
крайней мере одну дополнительную проводящую спираль одинакового  
направления с упомянутой первой спиралью.
- 20 7. Способ по п.5 или п.6, отличающийся тем, что проводящую спираль образуют  
накаткой, в виде канавки, и заполняют стекловидной массой.
8. Способ по п.5 или п.6, отличающийся тем, что проводящая спираль  
выполняется на стенке в виде выпуклого слоя из стекловидной массы.

9. Способ по п.5, или п.6, или п.7, или п.8, отличающийся тем, что расстояние до дефекта находят по произведению длины трубопровода на отношение времён пробега измерительных импульсов после и до появления дефекта.
- 5 10. Способ по п.5, или п.6, или п.7, или п.8, отличающийся тем, что формируют слои разной деформативности, а срок отказа трубопровода определяют расчётным путём по значениям деформативности слоёв и стенки и времени разрушения слоёв.
- 10 11. Способ ремонта трубопровода, заключающийся в том, что в полости трубопровода понижают давление и восстанавливают дефектную стенку трубопровода, отличающийся тем, что в трубопроводе образуют по крайней мере одну спираль, винтовой шаг которой выбирают не больше длины критической трещины трубопровода, обследуют эту спираль для определения дефекта в стенке трубопровода, и по изменениям колебаний измерительного импульса понижают
- 15 давление в полости трубопровода, и восстанавливают дефектную стенку теплом колебаний, пропускаемых проводящей спиралью в раскрытие трещины.
12. Способ по п.11, отличающийся тем, что на стенке трубопровода выполняют по крайней мере одну дополнительную проводящую спираль одинакового направления с упомянутой первой спиралью.
- 20 13. Способ по п.11 или п.12, отличающийся тем, что проводящую спираль образуют накаткой, в виде канавки, и заполняют стекловидной массой.
14. Способ по п.11, или п.12, отличающийся тем, что проводящая спираль выполняется на стенке в виде выпуклого слоя из стекловидной массы.
15. Способ по п.11, или п.12, или п.13, или по п.14, отличающийся тем, что поток
- 25 тепла в раскрытие трещины регулируют мощностью пропускаемых колебаний.

16. Способ по п.11, или п.12, или п.13, или по п.14, отличающийся тем, что мощность пропускаемых колебаний увеличивают степенями.

17. Устройство для осуществления способа по п.11, или п.12, или п.13, или по п.14,  
5 или п.15, или п.16, содержащее датчик и монитор, последовательно соединенные блок питания, преобразователь постоянного напряжения в переменное напряжение, излучатель и оптоэлектронную пару, которая соединена с датчиком в виде волоконно-оптической линии и первым входом монитора, второй вход которого подключён к выходу преобразователя постоянного напряжения в  
10 переменное, отличающееся тем, что волоконно-оптическая линия выполнена в виде слоя стекловидной массы, образованного по крайней мере одной проводящей спиралью трубопровода, расстояние между соседними витками которой выбрано не больше длины критической трещины.

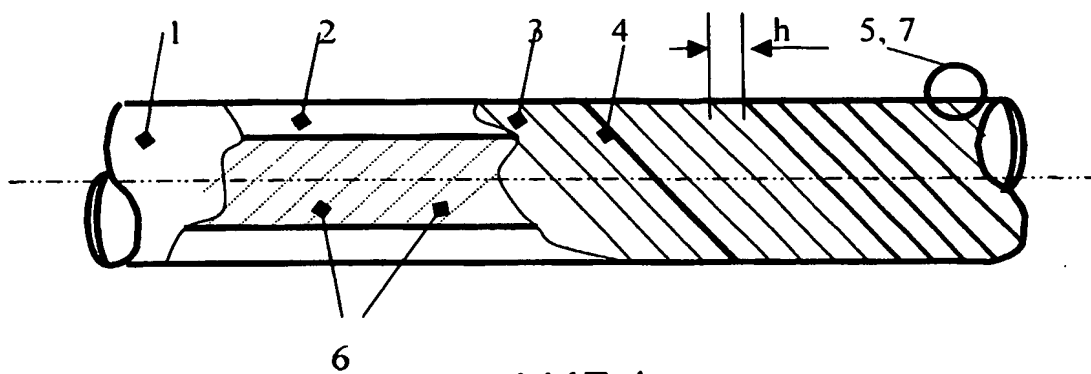
18. Устройство по п.17, отличающееся тем, что излучатель оптоэлектронной пары  
15 выполнен в виде лазера.

20

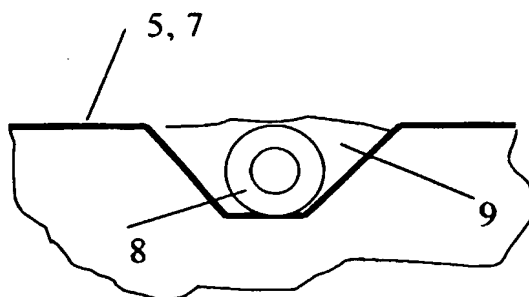
25



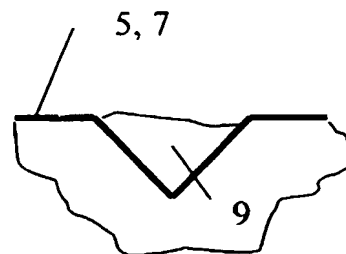
1/2



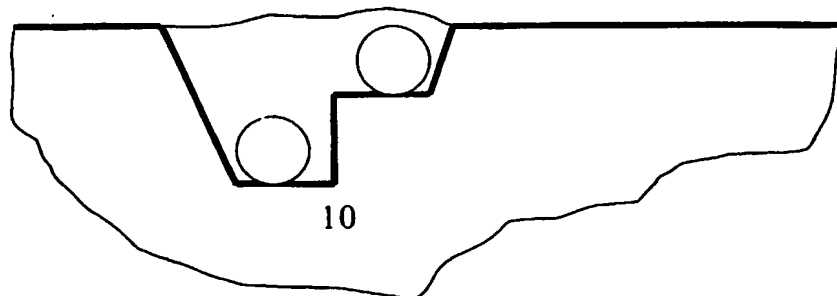
ФИГ.1



ФИГ.2

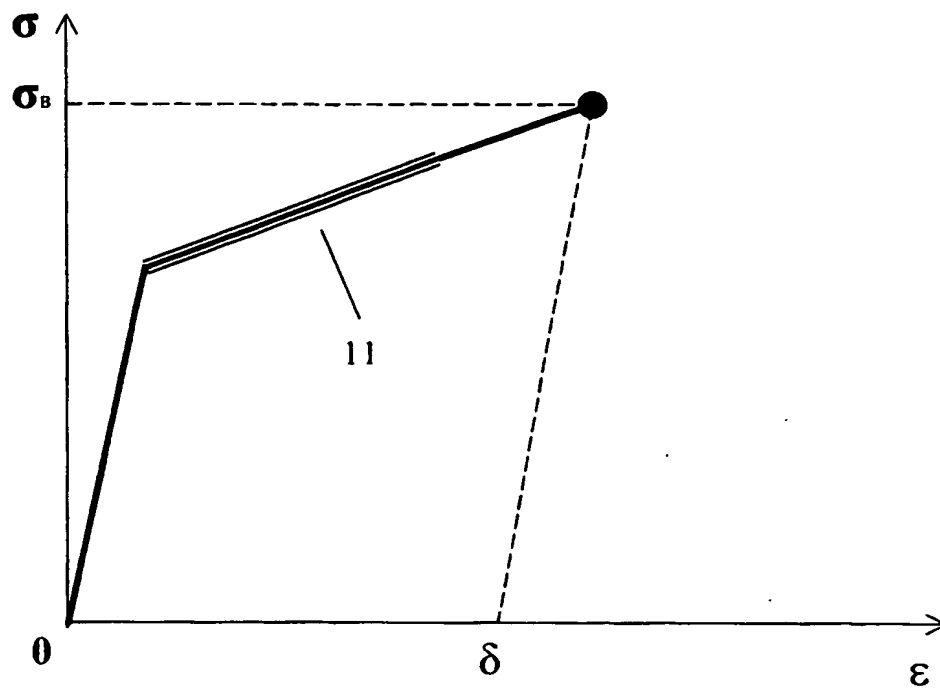


ФИГ.3

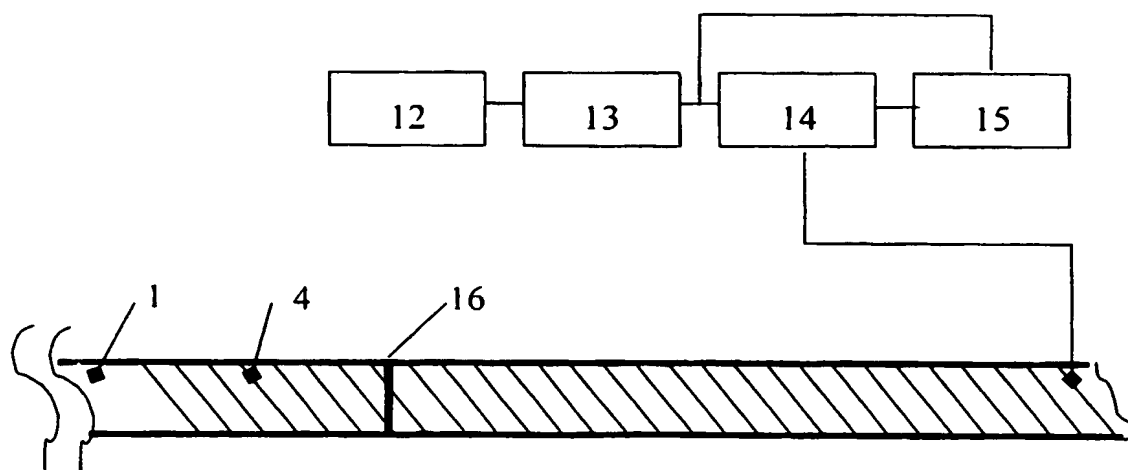


ФИГ.4

2/2



ФИГ.5



ФИГ.6

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/RU 03/00375

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F17D 5/00, F16L 55/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F17D 5/00-5/06, F16L 55/00-55/18

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	SU 1688021 A1 (KONSTRUKTORSKOE BJURO ELEKTROPRIBOROSTROENIYA) 30.10.1991	1-10
A	SU 1688022 A1 (KONSTRUKTORSKOE BJURO ELEKTROPRIBOROSTROENIYA) 30.10.1991	1-10
A	SU 806987 A (VSESOJUZNY NAUCHNO-ISSLEDOVATELSKY I PROEKTNO-KONSTRUKTORSKY INSTITUT PO TRUBOPROVODNYM KONTEINERNYM SISTEMAM "VNIIPITRANSProgress" 23.02.1981	1-10
A	RU 2118738 C1 (GUROV ALEXANDR EFIMOVICH) 10.09.1998	11-18
A	EP 0042212 A1 (IMPERIAL CHEMICAL INDUSTRIES LIMITED) 23.12.1981	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

24 November 2003 (24.11.2003)

Date of mailing of the international search report

04 December 2003 (04.12.2003)

Name and mailing address of the ISA/

RU

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

# ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Международная заявка №  
PCT/RU 03/00375

<b>А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ:</b>		
F17D 5/00, F16L 55/18		
Согласно международной патентной классификации (МПК-7)		
<b>В. ОБЛАСТИ ПОИСКА:</b>		
Проверенный минимум документации (система классификации и индексы) МПК-7:		
F17D 5/00-5/06, F16L 55/00-55/18		
Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки:		
Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если, возможно, поисковые термины):		
<b>С. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ:</b>		
Категория*	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A	SU 1688021 A1 (КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО ЭЛЕКТРОПРИБОРОСТРОЕНИЯ) 30.10.1991	1-10
A	SU 1688022 A1 (КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО ЭЛЕКТРОПРИБОРОСТРОЕНИЯ) 30.10.1991	1-10
A	SU 806987 A (ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ ПО ТРУБОПРОВОДНЫМ КОНТЕЙНЕРНЫМ СИСТЕМАМ "ВНИИПИТРАНСПРОГРЕСС") 23.02.1981	1-10
A	RU 2118738 C1 (ГУРОВ АЛЕКСАНДР ЕФИМОВИЧ) 10.09.1998	11-18
A	EP 0042212 A1 (IMPERIAL CHEMICAL INDUSTRIES LIMITED) 23.12.1981	1-10
<input type="checkbox"/> последующие документы указаны в продолжении графы С. <input type="checkbox"/> данные о патентах-аналогах указаны в приложении		
* Особые категории ссылаемых документов: А документ, определяющий общий уровень техники Е более ранний документ, но опубликованный на дату международной подачи или после нее О документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д. Р документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета и т.д. Т более поздний документ, опубликованный после даты приоритета и приведенный для понимания изобретения Х документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну и изобретательский уровень У документ, порочащий изобретательский уровень в сочетании с одним или несколькими документами той же категории & документ, являющийся патентом-аналогом		
Дата действительного завершения международного поиска: 24 ноября 2003 (24.11.2003)		Дата отправки настоящего отчета о международном поиске: 04 декабря 2003 (04.12.2003)
Наименование и адрес Международного поискового органа Федеральный институт промышленной собственности РФ, 123995, Москва, Г-59, ГСП-5, Бережковская наб., 30,1 Факс: 243-3337, телетайп: 114818 ПОДАЧА		Уполномоченное лицо:  В. Копаев  Телефон № 240-25-91

Форма PCT/ISA/210 (второй лист)(июль 1998)